



8 Congresso Nacional de Geomorfologia

Geomorfologia 2017

Livro de Atas

4 - 7 Outubro de 2017 | Faculdade de Letras da Universidade do Porto

Associação Portuguesa de Geomorfólogos

Departamento de Geografia - FLUP, Via Panorâmica, S/N 4150-564 Porto

Email: apgeom.dir@apgeom.pt

Título: 8º Congresso Nacional de Geomorfologia - Geomorfologia 2017

Editor: Associação Portuguesa de Geomorfólogos

Comissão Redactorial: António Alberto Gomes, José Teixeira e Laura Soares

Fotografia de Capa: Frecha da Mizarela e vale do Caima, Arouca (José Teixeira, Outubro de 2017)

Capa: Claudia Manuel

Composição e Edição: Claudia Manuel, Márcia Martins, Eva Calicis

ISBN: 978-989-96462-7-8

Depósito Legal:

Porto, Outubro de 2017

8º Congresso Nacional de Geomorfologia - Geomorfologia 2017

Comissão Científica:

Ana Paula Ribeiro Ramos Pereira, Carlos Valdir de Meneses Bateira, Diamantino Manuel Insua Pereira e Lúcio José Sobral da Cunha

Comissão Organizadora:

Alberto Gomes, José Teixeira, Laura Soares, Jorge Trindade, Ricardo Garcia, Luca Dimuccio, Carlos Bateira, Claudia Manuel, Márcia Martins, Marta Araújo, António Silva e Eva Calicis

Apoios:



Centro de Estudos Geográficos
IGOT - UNIVERSIDADE DE LISBOA



POCI-01-0145-FEDER-006891



Cofinanciado por:



Vulnerabilidade física das estradas a deslizamentos

Physical vulnerability of roads to slides

C. Alves¹, S. C. Oliveira^{1*}

¹ Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Edifício IGOT, Rua Branca Edmée Marques, 1600-276 Lisboa, Portugal

* cruzdeoliveira@campus.ul.pt

Palavras-chave: deslizamentos, vulnerabilidade física, grau de perda, elementos expostos, estradas

Key-words: slides, physical vulnerability, degree of loss, exposed elements, roads

RESUMO

A avaliação do grau de perda de um elemento exposto a movimentos de vertente suportada por relações empíricas que estabelecem a relação entre nível de danos/grau de perda e a descrição qualitativa de diferentes tipologias de danos (abordagem GrauPerda 1) pode ser alvo de alguma subjetividade quando efetuada por técnicos com diferentes níveis de especialização. Como forma de acautelar esta possível fonte de incerteza, são estabelecidos um conjunto de critérios mensuráveis e marcadores únicos de deformação, que permitem uma maior objetividade na determinação do grau de perda (abordagem GrauPerda 2). Para comparar o ajuste da presente proposta à abordagem GrauPerda 1, foi utilizado um catálogo de 356 movimentos de vertente do tipo deslizamento que geraram danos em diferentes tipos de estradas na bacia do Rio Grande da Pipa, Arruda dos Vinhos. Comparativamente, a determinação do grau de perda com base na presente proposta (GrauPerda 2) evidencia um razoável ajuste aos critérios mais subjetivos, que têm sido utilizados para determinar qualitativamente a vulnerabilidade física das estradas.

INTRODUÇÃO

A dificuldade em determinar quantitativamente o grau de perda (vulnerabilidade física) de um elemento exposto em função do impacto exercido por um movimento de vertente, de determinada magnitude/intensidade, assenta essencialmente na complexidade em definir o grau de afetação estrutural sofrido ou o grau de perda de funcionalidade do elemento. Como forma de ultrapassar esta incerteza, tem sido adotadas abordagens mais quantitativas tendo por base a determinação do grau de perda, por exemplo, pela relação entre o custo de construção e de reconstrução do elemento afetado (e.g., Papathoma-Köhle *et al.*, 2012) ou abordagens mais qualitativas (neste trabalho designadas por GrauPerda 1), suportadas por relações empíricas que estabelecem a relação entre nível de danos/grau de perda de um elemento exposto e diferentes tipologias de danos (e.g., Guillard-Gonçalves *et al.*, 2016). Neste sentido, de forma a tornar menos ambígua a avaliação qualitativa da vulnerabilidade física, pela subjetividade que pode existir na determinação do grau de perda por técnicos com diferentes níveis de especialização, pretende-se: (i) definir um conjunto de critérios mensuráveis e marcadores únicos de deformação que permitam

a avaliar objetivamente o grau de perda em estradas, quando afetadas por movimentos de vertente (abordagem GrauPerda 2); e (ii) comparar a avaliação qualitativa da vulnerabilidade física das estradas a movimentos de vertente com base na abordagem mais subjetiva e mais utilizada na região norte de Lisboa (GrauPerda 1) e na abordagem mais objetiva, definida em (i) como abordagem GrauPerda 2.

A área de estudo corresponde à bacia do Rio Grande da Pipa (110 km²), região de Arruda dos Vinhos e apresenta uma elevada predisposição para a ocorrência de movimentos de vertente (Oliveira, 2012). A morfologia atual evidencia a grande dependência entre a litologia e morfologia sobretudo pela exploração que a erosão diferencial faz da alternância de materiais com diferente resistência à erosão, plasticidade e permeabilidade (e.g., Zêzere, 1991).

MOVIMENTOS DE VERTENTE E REGISTOS DE DANOS EM ESTRADAS

Na área de estudo existem 356 movimentos de vertente do tipo deslizamento que causaram danos em estradas. Os registos de danos foram extraídos do inventário histórico de movimentos de vertente existente para a bacia do Rio Grande da Pipa (Oliveira, 2012) e resultam maioritariamente de trabalho de campo realizado entre 2006 e 2015 e da interpretação de fotografias aéreas e de ortofotomapas de diferentes datas (e.g., 1983, 1989, 2007, 2012). Neste catálogo o registo descritivo e fotográfico relativo à tipologia e nível de danos apresenta diferentes graus de detalhe e fiabilidade. Nos casos em que os registos de deformação não permitiram determinar com rigor o grau de perda, como nos casos identificados através de fotointerpretação, foram efetuadas verificações e medições de campo adicionais. A magnitude, expressa pela área dos deslizamentos é utilizada neste trabalho como *proxy* da intensidade do movimento de vertente.

METODOLOGIA

A vulnerabilidade física é assumida como o grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos em risco, resultante da ocorrência de um movimento de vertente de uma determinada magnitude/intensidade e é expressa numa escala que varia entre 0 (não há perda) e 1 (perda total) (Varnes *et al.*, 1984). Assume-se ainda, que o nível de danos sofrido por uma estrada é condicionado pela sua resistência e por diferentes graus de deformação que tipicamente se verificam nos diferentes setores internos dos deslizamentos (cicatriz, área de depleção, área de acumulação, corpo e frente do deslizamento, e.g., Oliveira *et al.*, 2016). A resistência das estradas assume-se intrinsecamente relacionada com a sua tipologia de construção, o que tem permitido individualizar genericamente quatro tipos distintos de estradas (e.g., Garcia, 2012, Guillard-Gonçalves *et al.*, 2016): (V1) estrada rural com camada base ou de regularização de outros materiais menos resistentes (e.g., macadame ou *tout-venant*); (V2) estrada municipal ou similar desde que asfaltada; (V3) estrada nacional; (V4) autoestrada. Não entrando em detalhes relativos à rigidez/flexibilidade do tipo de pavimentos/estrutura, assume-se à semelhança de trabalhos anteriores, que a resistência estrutural das estradas aumenta progressivamente de V1 para V4.

Na Tabela 1 é apresentada uma proposta sustentada em critérios mensuráveis ou marcadores únicos de deformação, que permitem uma avaliação objetiva do grau de perda do elemento quando afetado por um movimento de vertente

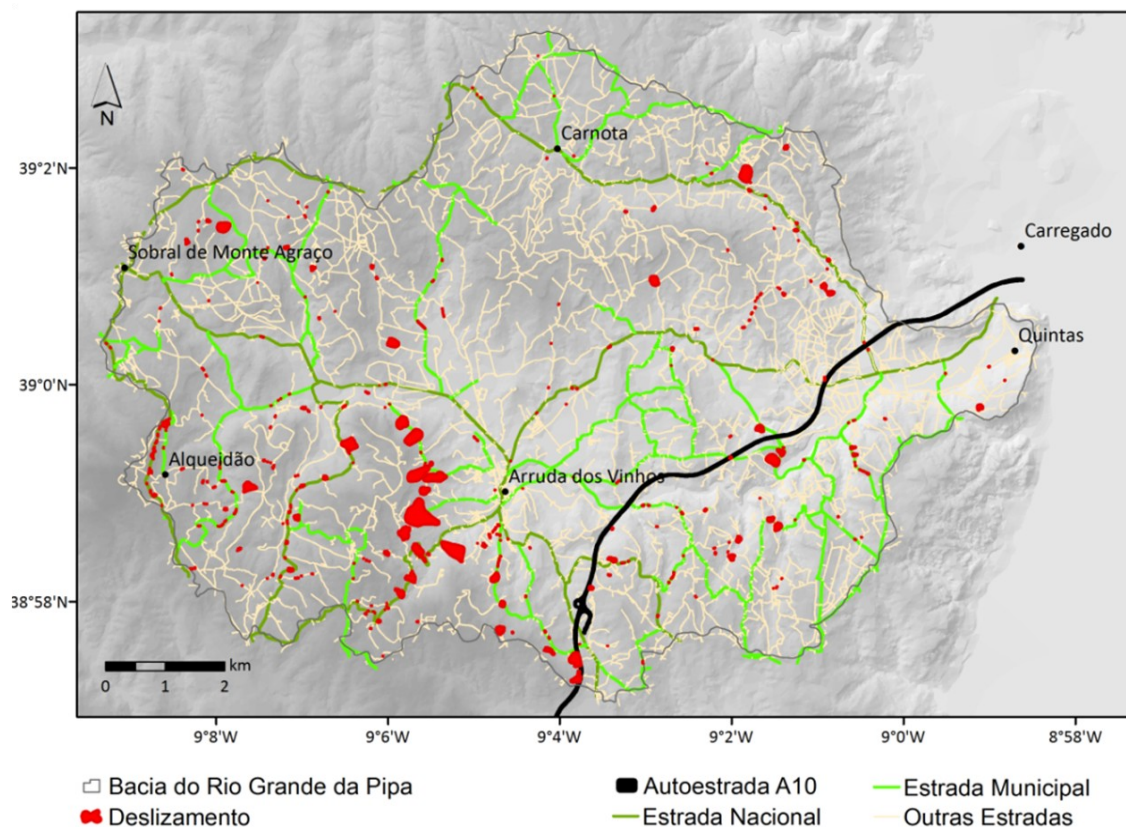


Figura 1. Deslizamentos que provocaram danos em estradas na bacia do Rio Grande da Pipa. As estradas asfaltadas não classificadas e estradas rurais ou similares são representadas por “outras estradas”.

(abordagem GrauPerda 2). A presente proposta não pretende uma rutura com as relações entre nível de danos e tipologia de danos em uso (e.g., Garcia, 2012; Guillard-Gonçalves, et al., 2016; Oliveira et al., 2016), mas sim um ajuste e uma maior discriminação do grau de perda relativamente às propostas pré-existent (abordagem GrauPerda 1). Na presente proposta, os critérios que foram alvo de quantificação ou os elementos que passaram a corresponder a marcadores únicos de deformação/perda de funcionalidade foram: i) amplitude da ondulação do pavimento da via; ii) a abertura de fissuras/fendas de tração; iii) o desnível vertical de fraturas; e iv) o tempo de interrupção/condicionamento da circulação. Os critérios de deformação vertical e horizontal foram ajustados por exemplo à capacidade que um veículo automóvel ligeiro de passageiros tem em ultrapassar o obstáculo (abertura ou desnível vertical de uma fratura). No caso do desnível vertical adotou-se como valores de referência a altura padrão dos lancis localizados nas bermas das estradas (10-13 cm, e.g., Regulamento da Urbanização e Edificação do Município de Cascais n.º 78-2013, Artigo 41.º 1 a) e a altura dos separadores centrais das vias (>30cm, altura aproximada à dos lancis de segurança).

No caso dos deslizamentos que ocorrem nos taludes de aterro que confinam bermas de estradas, consideram-se valores de grau de perda: 0,2 – cicatriz com altura <25% da altura do talude; 0,3 - cicatriz com altura entre 25% - 50% da altura do talude; 0,4 - cicatriz com altura >50% da altura do talude. Se a deformação se propagar do talude à via de circulação acresce 0,1 ao valor de grau de perda. Salva-se nestes casos que não é determinado grau de perda por deformação da via inferior ao estabelecido pelas condições determinadas na Tabela 1. Considera-se nesta abordagem, que o talude/aterro constitui parte fundamental da estrutura da estrada e que a perda de estabilidade do talude/aterro pode, colocar em causa a manutenção da circulação ou o seu condicionamento. Admite-se ainda, que os critérios utilizados na abordagem GrauPerda 2 apenas tenta-

ram reproduzir/ajustar os níveis de danos máximos encontrados em cada classe de nível de danos da abordagem GrauPerda 1, e por essa via são dificilmente reportáveis a uma avaliação quantitativa da resistência estrutural do elemento afetado.

A avaliação regional da vulnerabilidade e a “validação” da presente proposta são efetuadas pela comparação do grau de perda *versus* magnitude do deslizamento definidos pelas abordagens GrauPerda 1 (mais subjetiva, e.g., Oliveira *et al.*, 2016) e GrauPerda 2 (mais objetiva, critérios na Tabela 1).

RESULTADOS E PRINCIPAIS CONSIDERAÇÕES

Na Fig. 3 é apresentada a relação entre o grau de perda registado em diferentes tipologias de estradas e a magnitude dos movimentos de vertente do tipo deslizamento que geraram danos na área de estudo, com base nas abordagens GrauPerda 1 e GrauPerda2. Como se pode constatar, a relação entre o grau de perda e a magnitude dos deslizamentos não difere significativamente, apesar da ligeira “subavaliação” do grau de perda, por comparação, quando determinado através da proposta avançada na Tabela 1 (abordagem GrauPerda 2).

Estes resultados evidenciam um razoável ajuste da presente proposta aos critérios mais subjetivos, que têm sido utilizados para determinar qualitativamente a vulnerabilidade das estradas à ocorrência regional de movimentos de vertente. A ligeira sobrevalorização do grau de perda evidenciada pela abordagem mais tradicional e subjetiva (GrauPerda 1) deve-se ao facto das classes de nível de danos tipicamente definidas entre D1 a D5 apresentarem uma amplitude de 0,2 de intervalo de grau de perda, onde tipicamente numa perspetiva mais conservadora, leva a associar o grau de perda ao limite superior da classe. Desta forma somos levados a considerar que grande parte da “subavaliação” registada pela abordagem GrauPerda 2 corresponde apenas a um artifício gerado pela tentativa de aumento de resolução na determinação da vulnerabilidade.

Tabela 1 – Nível de danos, grau de perda e tipologia de danos em estradas - abordagem GrauPerda 2 (adaptado de Alexander, 1989; Garcia, 2012; Oliveira *et al.*, 2016).

| Estradas | | | |
|---|---------------|---|--|
| Nível de danos | Grau de perda | Situação de rotura ou deformação | Situação de soterramento |
| D0 | 0 | Não são observados danos. | Não aplicável. |
| D1 Negligenciável (danos estéticos) [0,1; 0,2] | 0,1 | Pequena deformação do pavimento (ondulação <5 cm). Ausência de fendas no pavimento. | Acumulação de material até 0,5 m de altura cobrindo até ao limite de 1 faixa de rodagem ou metade da via. Interrupção/condicionamento da circulação <1 dia. Sem danos visíveis. |
| | 0,2 | Pequena deformação do pavimento (ondulação <5 cm). Fraturas com desnível/abertura <1 cm. | Acumulação de material até 0,5 m de altura cobrindo mais do que 1 faixa de rodagem ou mais de metade da via. Interrupção/condicionamento da circulação <3 dias. Danos superficiais no pavimento: destruição vertical <1cm. |
| D2 Ligeiro (danos menores) [0,3; 0,4] | 0,3 | Fraturas com desnível/abertura entre 1 e 5 cm. Deformação do pavimento (ondulação/ basculamento <5 cm). | Acumulação de material entre 0,5 m e 2 m de altura cobrindo até ao limite de 1 faixa de rodagem ou metade da via. Interrupção/condicionamento da circulação <5 dias. Danos ligeiros no pavimento: destruição vertical <5cm. |
| | 0,4 | Fraturas com desnível/abertura entre 5 a 10 cm na via. Deformação do pavimento (ondulação/ basculamento 5-10 cm). | Acumulação de material entre 0,5m e 2m de altura cobrindo mais do que 1 faixa de rodagem ou mais de metade da via. Interrupção/condicionamento da circulação <10 dias. Danos moderados no pavimento: destruição vertical <10cm. |
| D3 Significativo (danos importantes/ estruturais) Reparação complexa. [0,5; 0,6] | 0,5 | Fraturas com desnível/abertura entre 10 a 30 cm. Deformação do pavimento (ondulação/ basculamento <30 cm). Fraturas ou deformações danificam 1 faixa de rodagem ou metade da via. | Acumulação de material superior a 2m de altura cobrindo até ao limite de 1 faixa de rodagem ou metade da via. Interrupção/condicionamento da circulação <15 dias. Danos importantes no pavimento (destruição vertical <30cm). |
| | 0,6 | Fraturas com desnível/abertura entre 10 a 30 cm. Deformação do pavimento (ondulação/ basculamento <30 cm). Fraturas ou deformações que danificam mais do que 1 faixa de rodagem ou mais de metade da via. | Acumulação de material superior a 2 m de altura cobrindo mais do que 1 faixa de rodagem ou mais de metade da via. Interrupção/condicionamento da circulação <30 dias. Danos importantes no pavimento: destruição vertical <30cm. |
| D4 Severo Danos estruturais [0,7; 0,8] | 0,7 | Fraturas com desnível/abertura superior a 30 cm mas inferior a metade da altura da estrutura da estrada. Fraturas ou deformações danificam até ao limite de 1 faixa de rodagem ou metade da via. | Acumulação de material superior a 2 m de altura cobrindo mais do que 1 faixa de rodagem ou mais de metade da via. Interrupção/condicionamento da circulação <90 dias. Danos severos que afetam a estrutura da estrada: destruição vertical >30cm e inferior a metade da altura da estrutura da estrada. |
| | 0,8 | Fraturas com desnível/abertura superior a 30 cm mas inferior a metade da altura da estrutura da estrada. Fraturas ou deformações que danificam mais do que 1 faixa de rodagem ou mais de metade da via. | Acumulação de material superior a 2 m de altura cobrindo mais do que 1 faixa de rodagem ou mais de metade da via. Interrupção/condicionamento da circulação <6 meses. Danos severos que afetam a estrutura da estrada: destruição vertical >30cm e inferior a metade da altura da estrutura da estrada |
| D5 - [0,9; 1] Muito severo Danos estruturais que comprometem gravemente a integridade estrutural | 0,9 | Fraturas com desnível/abertura superior a 30 cm que danificam mais do que 1 faixa de rodagem ou mais de metade da via. Deformação vertical superior a metade da altura da estrutura da estrada. Poderá gerar o abandono da estrada. | Acumulação de material superior a 2 m de altura cobrindo mais do que 1 faixa de rodagem ou mais de metade da via. Interrupção/condicionamento da circulação <12 meses. Danos muito severos que afetam a estrutura da estrada: destruição vertical >30cm e superior a metade da altura da estrutura da estrada. |
| | 1 | Destrói por completo toda a estrutura da estrada: camadas de desgaste, granular e fundações/aterro. | Acumulação de material superior a 2 m de altura cobrindo mais do que 1 faixa de rodagem ou mais de metade da via. Interrupção/condicionamento da circulação >12 meses. Destrói por completo toda a estrutura da estrada: camadas de desgaste; granular; fundações/aterro; e estruturas de drenagem das águas pluviais. |

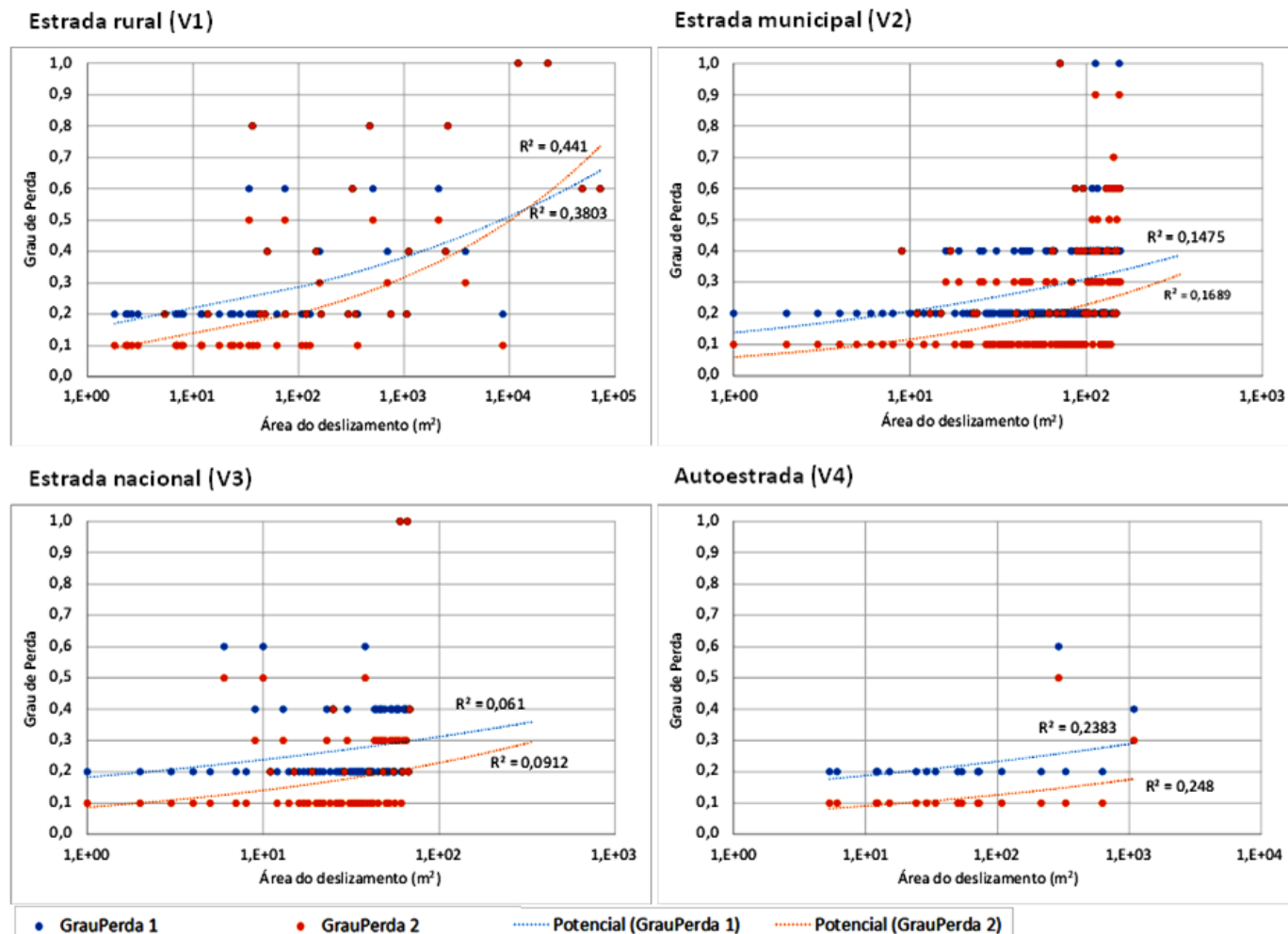


Figura 3. Grau de perda em estradas em função da magnitude dos deslizamentos tendo por base os critérios definidos pela abordagem GrauPerda 1 (a azul) e pela abordagem GrauPerda 2 (a laranja).

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto FORLAND—*Hydro-geomorphologic risk in Portugal: driving forces and application for land use planning* (PTDC/ATPGEO/1660/2014). S. C. Oliveira é financiado por uma bolsa Pós-Doutoramento [SFRH/BPD/85827/2012] pela FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P.

BIBLIOGRAFIA

- Garcia, R.A.C. (2012) Metodologias de avaliação de perigosidade e risco associado a movimentos de vertente. Aplicação na bacia da ribeira de Alenquer Tese de Doutoramento, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Portugal.
- Guillard-Gonçalves, C.; Zêzere, J. L.; Pereira, S.; Garcia, R.A.C. (2016) Assessment of physical vulnerability of buildings and analysis of landslide risk at the municipal scale: application to the Loures municipality, Portugal. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16, 311–331.
- Oliveira, S. C. (2012) Incidência espacial e temporal da instabilidade geomorfológica na bacia do rio Grande da Pipa (Arruda dos Vinhos), Tese de Doutoramento, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Portugal.
- Oliveira, S.C.; Zêzere, J.L.; Gracia, R.A.C.; Pereira, S. (2016) Padrão de deformação de movimentos de vertente em áreas periurbanas.
- Papathoma-Köhle, M.; Keiler, M.; R. Totschnig, R.; Glade, T. (2012) Improvement of vulnerability curves using data from extreme events: debris flow event in South Tyrol. *Natural Hazards*, 64 (3): 2083–2105.
- Varnes, D.J.; International Association of Engineering Geology Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slopes (1984) Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO, Paris.
- Zêzere, J.L. (1991) As costeiras a Norte de Lisboa: Evolução quaternária e dinâmica actual das vertentes. *Finisterra*, XXVI: 27–56.